

[Previous Doc](#)    [Next Doc](#)    [Go to Doc#](#)  
[First Hit](#)

[Generate Collection](#)

L18: Entry 17 of 55

File: DWPI

Sep 30, 2004

DERWENT-ACC-NO: 2004-679719

DERWENT-WEEK: 200467

COPYRIGHT 2006 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Device for alternately controlling pressure and flow in hydraulic fluid, for motor-pump unit, selects one of two setting signals and supplies to regulating circuit

INVENTOR: BONEFELD, R; LIEBLER, G

PATENT-ASSIGNEE: BOSCH REXROTH AG (BOSC)

PRIORITY-DATA: 2003DE-1012698 (March 21, 2003)

[Search Selected](#)     [Search All](#)     [Clear](#)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
<input type="checkbox"/> DE 10312698 A1	September 30, 2004		000	G05D016/00
<input type="checkbox"/> EP 1460505 A2	September 22, 2004	G	011	G05D016/20

DESIGNATED-STATES: AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LT LU LV MC MK NL PL PT RO SE SI SK TR

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DATE	APPL-NO	DESCRIPTOR
DE 10312698A1	March 21, 2003	2003DE-1012698	
EP 1460505A2	March 3, 2004	2004EP-0004925	

INT-CL (IPC): F04 B 49/06; F15 B 11/02; G05 D 7/00; G05 D 7/06; G05 D 16/00;  
G05 D 16/20; G05 D 27/02

ABSTRACTED-PUB-NO: EP 1460505A

BASIC-ABSTRACT:

NOVELTY - The time derivative of the actual pressure with negative sign, and a signal proportional to the set value of the pressure with positive sign, is superimposed on the output signal of a pressure regulator (30). A selection gate (36) receives the resulting signal as a setting signal for a pressure regulating circuit and a setting signal for a flow regulating circuit. The selection gate selects one of the two setting signals and supplies it as a setting value to a regulating circuit (27) for drive torque.

USE - For hydraulically-driven motor-pump unit, or electrically driven motor-pump

unit.

ADVANTAGE - Improved control characteristics for a closed pressure-control loop, for sections with small hydraulic capacity.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a motor-pump unit in the form of a hydro-transformer.

Drive torque regulator 27

Pressure regulator 30

Selection gate. 36

ABSTRACTED-PUB-NO: EP 1460505A

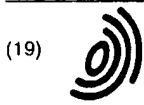
EQUIVALENT-ABSTRACTS:

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/6

DERWENT-CLASS: Q56 Q57 T06 X25

EPI-CODES: T06-B04B; T06-B11; X25-L03A; X25-L09;

[Previous Doc](#)    [Next Doc](#)    [Go to Doc#](#)



(19) Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) EP 1 460 505 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
22.09.2004 Patentblatt 2004/39

(51) Int Cl.7: G05D 16/20, G05D 7/06,  
G05D 27/02

(21) Anmeldenummer: 04004925.6

(22) Anmeldetag: 03.03.2004

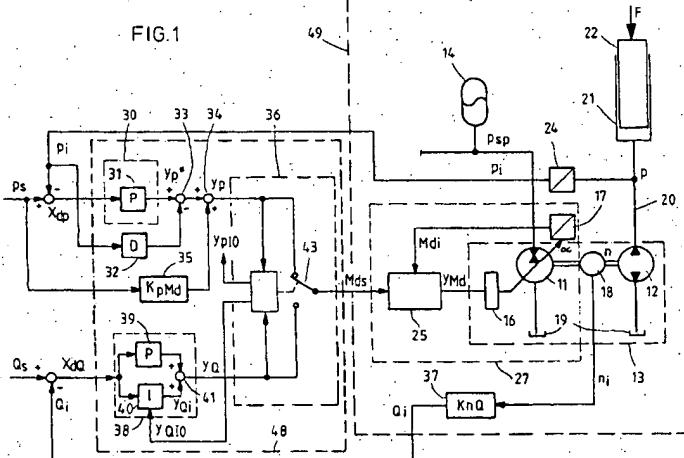
(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK  
(30) Priorität: 21.03.2003 DE 10312698

(71) Anmelder: Bosch Rexroth AG  
70184 Stuttgart (DE)  
(72) Erfinder:  
• Bonefeld, Ralf, Dr.  
63739 Aschaffenburg (DE)  
• Liebler, Gerold  
97828 Marktredwitz (DE)

### (54) Einrichtung zur ablösenden Regelung von Druck und Förderstrom eines hydraulischen Druckmittels

(57) Das Regelverhalten einer Einrichtung zur ablösenden Regelung von Druck und Förderstrom eines hydraulischen Druckmittels, das einem von einer Last beaufschlagten Verbraucher zugeführt ist, soll insbesondere für Regelstrecken mit kleiner hydraulischer Kapazität verbessert werden. Hierzu ist ein Regelkreis für das Antriebsdrehmoment des Motors einer Motor-Pumpe-Einheit vorgesehen. Dem Ausgangssignal des Druckreglers (30) ist die zeitliche Ableitung des Druck-Istwerts mit negativem Vorzeichen und ein dem Druck-Sollwert proportionales Signal mit positivem Vorzeichen überlagert. Einem Auswahlglied (36) sind das resultierende Signal als Stellsignal des Druckregelkreises und das Stell-

signal des Förderstromregelkreises zugeführt. Das Auswahlglied wählt eines der beiden Stellsignale aus und führt es dem Regelkreis (27) für das Antriebsdrehmoment als Sollwert zu. Der Druckregler (30), das von dem Druck-Istwert beaufschlagte D-Glied (32), das von dem Druck-Sollwert beaufschlagte P-Glied (35), der Förderstromregler (38) und das Auswahlglied (36) sind als zeitdiskret arbeitende Regelanordnung ausgebildet, die das kleinere Stellsignal auswählt und die verhindert, daß das Ausgangssignal eines Reglers mit I-Verhalten wegdriftet, wenn der entsprechende Regelkreis nicht geschlossen ist. Die Einrichtung zur ablösenden Regelung ist sowohl bei hydraulisch als auch bei elektrisch angetriebenen Motoren einsetzbar.



EP 1 460 505 A2

### Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur ablösenden Regelung von Druck und Förderstrom eines hydraulischen Druckmittels, das einem von einer Last beaufschlagten Verbraucher zugeführt ist, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Eine derartige Regeleinrichtung ist aus der DE 100 06 977 A1 bekannt. Die Figur 1 dieser Druckschrift zeigt eine Motor-Pumpe-Einheit in Form eines Hydromotors, bei dem ein aus einem Hydrauliknetz mit eingeprägtem Druck versorger Hydromotor mit verstellbarem Schluckvolumen eine Hydropumpe mit konstantem Fördervolumen antreibt. Die jeweilige Lage des Schwenkwinkels der Stelleinrichtung für das Schluckvolumen des Hydromotors ist dabei gleichzeitig ein Maß für dessen Schluckvolumen. Die Hydropumpe versorgt einen Verbraucher, der als von einer Last beaufschlagter einfacher wirkender Zylinder ausgebildet ist, mit hydraulischem Druckmittel. Die bekannte Regeleinrichtung weist einen Druckregler auf, der aus einem Druck-Sollwert und einem Druck-Istwert ein erstes Stellsignal bildet. Ein Förderstromregler bildet aus einem Förderstrom-Sollwert und einem aus der Drehzahl der Motor-Pumpe-Einheit abgeleiteten Förderstrom-Istwert ein zweites Stellsignal. Ein Auswahlglied wählt das kleinere der beiden Stellsignale aus und führt es der Stelleinrichtung für das Schluckvolumen des Hydromotors zu, so daß entweder der Druckregelkreis oder der Förderstromregelkreis wirksam ist. Der Hydromotor ist mit einem Drehzahlregelkreis sowie mit einem diesem unterlagerten Schwenkwinkelregelkreis versehen. Das von dem Auswahlglied ausgewählte Stellsignal ist dem Drehzahlregelkreis als Drehzahl-Sollwert zugeführt. Ein Drehzahlregler bildet aus der Abweichung des Drehzahl-Istwerts von dem Drehzahl-Sollwert ein Stellsignal, das dem unterlagerten Schwenkwinkelregelkreis als Schwenkwinkel-Sollwert zugeführt ist. Die Regelung des Schwenkwinkels entspricht hierbei einer Regelung des Antriebsdrehmoments des Hydromotors. Zur Erfassung des Druck-Istwerts dient ein mit dem Druck in der von der Hydropumpe zu dem Zylinder führenden Leitung beaufschlagter Drucksensor. Der Förderstrom-Istwert wird dagegen nicht direkt gemessen, sondern durch Multiplikation des Drehzahl-Istwerts mit einem das Fördervolumen der Hydropumpe berücksichtigenden konstanten Faktor ermittelt. Bei der Regelung von Druck und Förderstrom werden zur Verbesserung der Regelergebnisse zusätzlich zu den jeweiligen Istwerten die erste und die zweite zeitliche Ableitung des Druck-Istwertsignals sowie die erste zeitliche Ableitung des Förderstrom-Istwertsignals berücksichtigt. Da die zeitlichen Ableitungen der Istwerte nicht direkt erfaßt werden können, sondern durch Differenzierung aus den entsprechenden Istwertsignalen erzeugt werden müssen, wird nicht nur das Nutzsignal differenziert, sondern es werden auch dem Nutzsignal überlagerte Rauschsignale mit differenziert. Die differenzierten Rauschsignale

sind dem Regler als Bestandteil der aus Sollwert und Istwert gebildeten Regeldifferenz zugeführt und verschlechtern dadurch wieder das Regelergebnis. Der dem Schwenkwinkelregelkreis überlagerte Drehzahlregelkreis des Hydromotors erfordert einen Regler mit PI-Verhalten. Der I-Anteil des Drehzahlreglers ist bei geschlossenem Druckregelkreis, d. h. dann wenn dem Drehzahlregler das Stellsignal des Druckreglers als Drehzahl-Sollwert zugeführt ist, von Nachteil. Um den Einfluß des I-Anteils des Drehzahlreglers bei geschlossenem Druckregelkreis auszugleichen, ist eine zweite zeitliche Ableitung des Druck-Istwerts erforderlich, bei der wieder außer dem Nutzsignal die Störsignale differenziert werden.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Regeleinrichtung der eingangs genannten Art mit bei geschlossenem Druckregelkreis verbessertem Regelverhalten, insbesondere für Strecken mit kleiner hydraulischer Kapazität, zu schaffen.

[0004] Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst. Die erfindungsgemäße Regeleinrichtung ermöglicht bei geschlossenem Druckregelkreis eine Steuerung des Antriebsdrehmoments des Motors zusammen mit einer dieser überlagerten Regelung. Dabei setzt sich der der Motor-Pumpe-Einheit zugeführte Drehmoment-Sollwert aus einem dem Druck-Sollwert proportionalen Anteil, einem von dem Druck-Istwert abhängigen Anteil und einem von der Druck-Regeldifferenz abhängigen Anteil zusammen. Eine Druckänderung führt über eine Änderung des Antriebsdrehmoments zu einer entsprechenden Änderung des dem Verbraucher zugeführten bzw. von diesem abgeführten Volumenstroms. Dabei wirkt die hydraulische Kapazität des an die Pumpe angeschlossenen Verbrauchers einschließlich der Leitungen und der Drucksensorik als Volumenstromdifferenzsensor, der die Differenz zwischen dem abfließenden und dem zufließenden Volumenstrom bildet.

[0005] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet. Die im Anspruch 2 angegebene Maßnahme betrifft die Funktion des im Anspruch 1 angegebenen Auswahlglieds für den Fall, daß beide Stellsignale gleich groß sind. Die Maßnahmen des Anspruchs 3 vereinfachen die Optimierung der Parameter von Druck- und Förderstromregler. Die im Anspruch 4 angegebene Maßnahme spart ein P-Glied ein. Die im Anspruch 5 angegebenen Maßnahmen sorgen einerseits dafür, daß im eingeschwungenen Zustand der Druckregelung keine bleibende Regeldifferenz auftritt und andererseits dafür, daß das Ausgangssignal des Druckreglers bei offenem Druckregelkreis nicht wegdrifft. Die Ansprüche 6 und 7 geben Hinweise zum Einsatz unterschiedlicher Motoren im Zusammenhang mit der Erfindung.

[0006] Die Erfindung wird im folgenden mit ihren weiteren Einzelheiten anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen

- Figur 1 das Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur ablösenden Regelung von Druck und Förderstrom mit einer hydraulisch angetriebenen Motor-Pumpe-Einheit,  
 Figur 2 das Blockschaltbild einer ersten Ausgestaltung des Drückreglers der erfindungsgemäßen Regeleinrichtung,  
 Figur 3 das Blockschaltbild einer Ausgestaltung des Förderstromreglers der erfindungsgemäßen Regeleinrichtung,  
 Figur 4 eine andere Darstellung des Förderstromreglers gemäß Figur 3,  
 Figur 5 das Blockschaltbild eines gegenüber dem Drückregler gemäß Figur 2 um einen I-Anteil erweiterten Drückreglers und  
 Figur 6 das Blockschaltbild einer elektrisch angetriebenen Motor-Pumpe-Einheit.

[0007] Gleiche Bauteile sind mit den gleichen Bezugssymbolen versehen.  
 [0008] Die Figur 1 zeigt das Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur ablösenden Regelung von Druck und Förderstrom eines hydraulischen Druckmittels, das einem von einer Last beaufschlagten Verbraucher im Form eines einfach wirkenden Zylinders zugeführt ist. Ein hydraulischer Motor 11 mit verstellbarem Schluckvolumen und eine von diesem angetriebene hydraulische Pumpe 12 mit konstantem Fördervolumen bilden eine Motor-Pumpe-Einheit 13. Derartige Motor-Pumpe-Einheiten sind auch unter dem Begriff Hydrotransformator bekannt. Der Motor 11 wird aus einem Hydrauliknetz mit eingeprägtem Druck  $p_{sp}$  versorgt, das durch einen Speicher 14 angedeutet ist. Die Größe des Antriebsdrehmoments  $M_d$  des Motors 11 ist durch Änderung des Schluckvolumens des Motors 11 einstellbar, wobei die Änderungen des Schluckvolumens durch Verstellung des im Folgenden mit  $\alpha$  bezeichneten Schwenkwinkels einer in dem Motor 11 angeordneten Steuerscheibe erfolgen. Die Wirkrichtung des den Motor 11 antreibenden Moments ist durch die Richtung, in die die Steuerscheibe aus ihrer neutralen Stellung geschwenkt wird, bestimmt. Die Steuerscheibe selbst ist in der Figur 1 nicht dargestellt. Vorzeichen und Betrag des Schwenkwinkels  $\alpha$  bestimmen somit Richtung und Größe des den Motor 11 antreibenden Moments. Eine Stelleinrichtung 16 setzt ein Steuersignal  $y_{Md}$  in den Winkel  $\alpha$  um. Bei der Stelleinrichtung 16 handelt es sich z. B. um ein von einem elektrischen Signal gesteuertes Ventil, das die Zufuhr von Druckmittel zu einem hydraulischen Zylinder steuert, dessen Kolben die Steuerscheibe verstellt. Ein mit der Steuerscheibe verbundener Winkelgeber 17 formt den Winkel  $\alpha$  in ein Signal um, das ein Maß für den Schwenkwinkel-Istwert ist. Durch Multiplikation dieses Signals mit einem Faktor  $K_{\alpha Md}$ , der den Zusammenhang zwischen dem Schwenkwinkel  $\alpha$  und dem Drehmoment  $M_d$  berücksichtigt, erhält man einen Drehmoment-Istwert  $M_d$ . In dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel erfolgt die

Multiplikation mit dem Faktor  $K_{\alpha Md}$  bereits in dem Winkelgeber 17, so daß dessen Ausgangsgröße bereits der Drehmoment-Istwert  $M_d$  ist. Ein Drehzahlgeber 18 formt die Drehzahl  $n$  des die Pumpe 12 antreibenden Motors 11 in ein dem Drehzahl-Istwert entsprechendes Signal  $n_i$  um. Die Pumpe 12 fördert in der einen Drehrichtung aus einem Tank 19 Druckmittel über eine Leitung 20 zu einem einfach wirkenden Zylinder 21 mit einem Kolben 22. In der anderen Drehrichtung führt die Pumpe 12 Druckmittel von dem Zylinder 21 über die Leitung 20 zum Tank 19 zurück. Der Kolben 22 ist mit einer Kraft  $F$  beaufschlagt. Ein an die Leitung 20 angeschlossener Druckgeber 24 formt den Druck  $p$  des Druckmittels in ein dem Druck-Istwert entsprechendes Signal  $p_i$  um. Dabei wird davon ausgegangen, daß sowohl in der Leitung 20 als auch in dem Zylinder 21 derselbe Druck, nämlich Lastdruck, herrscht. Die Summe aus dem Volumen des Druckmittels im Zylinder 21 und dem Volumen des Druckmittels in der zu dem Zylinder 21 führenden Leitung 20 ist ein Maß für die hydraulische Kapazität des Verbrauchers.  
 [0009] Ein Drehmomentregler 25 bildet aus der Abweichung des Drehmoment-Istwerts  $M_d$  von einem Drehmoment-Sollwert  $M_{ds}$  das der Stelleinrichtung 16 als Stellgröße zugeführte Steuersignal  $y_{Md}$ . Der Drehmomentregelkreis ist mit dem Bezugssymbol 27 versehen.  
 [0010] Ein Druckregler 30 bildet aus einer Druck-Regeldifferenz  $x_{dp}$ , die aus der Abweichung des Druck-Istwerts  $p_i$  von einem Druck-Sollwert  $p_s$  gebildet ist, ein Ausgangssignal  $y_p$ . Der Druckregler 30 besteht in diesem Ausführungsbeispiel nur aus einem P-Glied 31. Der Druck-Istwert  $p_i$  ist einem D-Glied 32 zugeführt, das seine zeitliche Ableitung bildet. Ein Rechenglied 33 bildet die Differenz aus dem Ausgangssignal  $y_p$  des Druckreglers 30 und dem Ausgangssignal des D-Glieds 32.  
 [0011] Ein Summierglied 34 verknüpft das Ausgangssignal des Rechenglieds 33 und das Ausgangssignal eines P-Glieds 35 zu einem Druck-Stellsignal  $y_p$ . Das P-Glied 35 multipliziert den Druck-Sollwert  $p_s$  mit einem Faktor  $K_{pMD}$ , der den Zusammenhang zwischen dem Druck-Sollwert  $p_s$  und dem diesem entsprechenden Anteil des Antriebsdrehmoments  $M_d$  berücksichtigt. Das Stellsignal  $y_p$  ist einem ersten Eingang eines zwei Eingänge aufweisenden Auswahlglieds 36 zugeführt.  
 [0012] Ein P-Glied 37 bildet durch Multiplikation des Drehzahl-Istwerts  $n_i$  mit einem konstanten Faktor  $K_{nQ}$ , der das konstante Fördervolumen der Pumpe 12 berücksichtigt, ein Signal  $Q_i$ . Bei dem Signal  $Q_i$  handelt es sich um einen aus der Drehzahl  $n$  abgeleiteten Förderstrom-Istwert. Ein Förderstromregler 38 bildet aus einer Förderstrom-Regeldifferenz  $x_{dQ}$ , die aus der Abweichung des Förderstrom-Istwerts  $Q_i$  von einem Förderstrom-Sollwert  $Q_s$  gebildet ist, ein zweites Stellsignal  $y_Q$ . Der Förderstromregler 38 enthält ein P-Glied 39 und ein zu diesem parallel angeordnetes I-Glied 40. Ein Summierglied 41 verknüpft das Ausgangssignal des

P-Glieds 39 und das Ausgangssignal des I-Glieds 40 zu dem Stellsignal  $y_Q$ . Das Stellsignal  $y_Q$  ist dem anderen Eingang des Auswahlglieds 36 als Förderstrom-Stellsignal zugeführt.  
**[0013]** Der Druckregler 30, das D-Verhalten aufweisende Glied 32, das P-Glied 35, der Förderstromregler 38 und das Auswahlglied 36 sind als zeitdiskret arbeitende Regelanordnung 48 ausgebildet. Das Auswahlglied 36 enthält einen gesteuerten Umschalter 43. Der Umschalter 43 führt den Regelkreis 27 für das Drehmoment  $M_d$  in der einen Schaltstellung das Stellsignal  $y_p$  und in der anderen Schaltstellung das Stellsignal  $y_Q$  als Drehmoment-Sollwert  $M_{d_s}$  zu, so daß in dem einen Fall der Druckregelkreis und in dem anderen Fall der Förderstromregelkreis geschlossen ist. Als Steuersignale für die Stellung des Umschalters 43 sind dem Auswahlglied 36 die Stellsignale  $y_p$  und  $y_Q$  zugeführt. Die Regelanordnung 48 bildet in aufeinanderfolgenden Zyklen, die jeweils aus mehreren Schritten bestehen, den Drehmoment-Sollwert  $M_{d_s}$  für den Drehmomentregelkreis 27. Aus den zu Beginn eines Zyklus am Eingang des Druckreglers 30 und am Eingang des Förderstromreglers 38 anstehenden Werten der Regeldifferenzen  $x_{dp}$  und  $x_{dQ}$  sowie des Druck-Sollwerts  $p_s$  und des Druck-Istwerts  $p_i$  bildet die Regelanordnung 48 die Stellsignale  $y_p$  und  $y_Q$ . Das Auswahlglied 36 wählt das kleinere der beiden Stellsignale aus und führt es dem Drehmomentregelkreis 27 so lange als Drehmoment-Sollwert  $M_{d_s}$  zu, bis zu Beginn des darauf folgenden Zyklus die Stellsignale  $y_p$  und  $y_Q$  neu gebildet sind. Das Auswahlglied 36 führt jetzt das kleinere der beiden in diesem Zyklus neu gebildeten Stellsignale dem Drehmomentregelkreis 27 als neuen Drehmoment-Sollwert  $M_{d_s}$  zu. Somit ist einer der beiden Regelkreis geschlossen und der andere offen. Besitzt ein Regler, wie in dem in der Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel der Förderstromregler 38, einen I-Anteil, so ändert sich dessen Ausgangssignal bei offenem Regelkreis und von Null verschiedener Regeldifferenz  $x_{dQ}$  entsprechend dem Übertragungsvorhalten des I-Anteils. Dies bedeutet, daß sich auch das Ausgangssignal des Reglers in entsprechender Weise ändert. Damit das Ausgangssignal des Reglers des offenen Regelkreises nicht wegdrifft, sind die im folgenden beschriebenen zusätzlichen Schritte innerhalb eines Zyklus vorgesehen.

**[0014]** Für die Beschreibung dieser Schritte wird davon ausgegangen, daß das Stellsignal  $y_p$  des Reglers 30 kleiner als das Stellsignal  $y_Q$  des Reglers 38 ist. In diesem Fall ist dem Drehmomentregelkreis 27 das Stellsignal  $y_p$  als Drehmoment-Sollwert  $M_{d_s}$  zugeführt. Dies bedeutet, daß der Druckregelkreis geschlossen und der Förderstromregelkreis offen ist. Um ein Wegdriften des Ausgangssignals  $y_Q$  des offenen Förderstromregelkreises zu verhindern, führt das Auswahlglied 36 dem I-Glied 40 in einem weiteren Schritt des Zyklus ein Korrektursignal  $y_{Q10}$  zu. Die Größe des Korrektursignals  $y_{Q10}$  ist dabei so bemessen, daß das Stellsignal  $y_Q$  am Ende eines Zyklus unter Berücksichtigung des Werts

der Regeldifferenz  $x_{dQ}$  vom Zyklusbeginn gleich dem Stellsignal  $y_p$  ist, das in diesem Zyklus als Drehmoment-Sollwert  $M_{d_s}$  dient. Nach der Zuführung des Korrektursignals,  $y_{Q10}$ , das das Stellsignal  $y_Q$  dem Stellsignal  $y_p$  angleicht, ist der betrachtete Zyklus beendet und ein neuer Zyklus beginnt. Die Regelanordnung 48 bildet aus der zu Beginn des neuen Zyklus am Eingang des Druckreglers 30 anstehenden Regeldifferenz  $x_{dp}$ , aus dem Druck-Sollwert  $p_s$ , dem Druck-Istwert  $p_i$  sowie der am Eingang des Förderstromreglers 38 anstehenden Regeldifferenz  $x_{dQ}$  zunächst wieder neue Stellsignale  $y_p$  und  $y_Q$ . Das Auswahlglied 36 wählt wieder das kleinere der beiden Stellsignale aus und führt es dem Drehmomentregelkreis 27 als neuen Drehmoment-Sollwert  $M_{d_s}$  zu.  
**[0015]** Ist das Stellsignal  $y_p$  wieder kleiner als das Stellsignal  $y_Q$ , bleibt der Druckregelkreis weiterhin geschlossen und dem I-Glied 40 wird wieder ein Korrektursignal  $y_{Q10}$  zugeführt, das so bemessen ist, daß das Stellsignal  $y_Q$  am Ende des Zyklus gleich dem Stellsignal  $y_p$  ist. Ist dagegen das zu Beginn eines neuen Zyklus gebildete Stellsignal  $y_Q$  kleiner als das Stellsignal  $y_p$ , leitet das Auswahlglied 36 das Stellsignal  $y_Q$  dem Drehmomentregelkreis 27 als neuen Drehmoment-Sollwert  $M_{d_s}$  zu. Jetzt ist der Förderstromregelkreis geschlossen und der Druckregelkreis ist offen. Da der in der Figur 1 dargestellte Druckregler 30 nur einen P-Anteil aufweist, kann sein Ausgangssignal  $y_p$  bei offenem Regelkreis nicht wegdriften. Aus diesem Grund braucht das Ausgangssignal  $y_p$  zum Ende eines Zyklus nicht an das Ausgangssignal  $y_Q$  angeglichen zu werden. Anders ist es dagegen, wenn auch der Druckregler einen I-Anteil aufweist. Auf eine derartige Ausgestaltung des Druckreglers wird weiter unten im Zusammenhang mit der Figur 5 eingegangen.  
**[0016]** Das in der Figur 2 dargestellte Blockschaltbild zeigt den in der Figur 1 dargestellten Druckregler 30 mit einem P-Glied 31, das D-Glied 32 sowie das P-Glied 35 in ausführlicherer Form als in der Figur 1. In dieser Darstellung ist das P-Glied 31 als Hintereinanderschaltung eines P-Glieds 51.1 mit einem konstanten Verstärkungsfaktor  $K_{Op}$  und eines P-Glieds 52 mit einstellbarem Parameter  $K_{c1}$  ausgebildet. Das D-Glied 32 ist als Hintereinanderschaltung eines P-Glieds 51.2 mit konstantem Verstärkungsfaktor  $K_{Op}$ , eines D-Glieds 53 und eines diesem nachgeschalteten P-Glieds 54 mit einstellbarem Parameter  $K_{d1}$  ausgebildet. Die mit  $K_{Op}$  bezeichneten Verstärkungsfaktoren der P-Glieder 51.1 und 51.2 sind gleich groß. In dem Verstärkungsfaktor  $K_{Op}$  ist der Zusammenhang zwischen der Druckänderung und der Drehgeschwindigkeit bei verschwindendem Lastvolumenstrom zusammengefaßt, wobei die hydraulische Kapazität des Verbrauchers bestehend aus dem Zylinder 21 einschließlich der zu ihm führenden Leitung 20 sowie das Fördervolumen der Pumpe 12 berücksichtigt sind. Somit erfolgt eine Umwandlung von Druckgrößen in Bewegungsgrößen. Der Parameter  $K_{d1}$  entspricht dem Dämpfungskoeffizienten der Strecke und der Parameter  $K_{c1}$  ihrem Steifigkeitskoeffizien-

ten.

[0016] Die Figur 3 zeigt das Blockschaltbild des in der Figur 1 dargestellten Förderstromreglers 38 in einer ausführlicheren Form. In dieser Darstellung ist das P-Glied 39 als Hintereinanderschaltung eines P-Glieds 59.1 mit einem konstanten Verstärkungsfaktor  $K_{0Q}$  und eines P-Glieds 60 mit einstellbarem Parameter  $K_{d2}$  ausgebildet. Das I-Glied 40 ist als Hintereinanderschaltung eines P-Glieds 59.2 mit konstantem Verstärkungsfaktor  $K_{0Q}$ , eines I-Glieds 61 und eines diesem nachgeschalteten P-Glieds 62 mit einstellbarem Parameter  $K_{c2}$  ausgebildet. Die mit  $K_{0Q}$  bezeichneten Verstärkungsfaktoren der P-Glieder 59.1 und 59.2 sind gleich groß. In dem Verstärkungsfaktor  $K_{0Q}$  ist der Zusammenhang zwischen dem Förderstrom und der Drehgeschwindigkeit zusammengefaßt und dabei das Fördervolumen der Pumpe 12 berücksichtigt. Bei dem Parameter  $K_{c2}$  handelt es sich um den Steifigkeitskoeffizienten der Strecke und bei dem Parameter  $K_{d2}$  um ihren Dämpfungskoeffizienten.

[0017] Die Figur 4 zeigt eine gegenüber der Figur 3 vereinfachte Darstellung des Förderstromreglers 38. In der Figur 4 sind die P-Glieder 59.1 und 59.2 der parallelen Zweige 39 und 40 des Förderstromreglers 38 in üblicher Weise zu einem gemeinsamen P-Glied 59 mit dem Verstärkungsfaktor  $K_{0Q}$  zusammengefaßt. An das P-Glied 59 schließt sich die Parallelschaltung der Glieder 39' und 40' an. Die in der Figur 3 verwendete Darstellung mit den getrennten P-Gliedern 59.1 und 59.2 wurde gewählt, um die Zusammenhänge besser darzustellen.

[0018] Wie in den Figuren 2 und 3 sowie in der der Figur 3 entsprechenden Figur 4 dargestellt, erfolgt eine Aufteilung des P-Glieds 31 und des D-Glieds 32 sowie eine Aufteilung des P-Glieds 39 und des I-Glieds 40 in einen Block mit dem festen Verstärkungsfaktor  $K_{0p}$  bzw.  $K_{0Q}$  und einen diesem nachgeschalteten Block mit einstellbaren Parametern  $K_{c1}$ ,  $K_{d1}$ ,  $K_{c2}$ ,  $K_{d2}$ . Die Verstärkungsfaktoren  $K_{0p}$  und  $K_{0Q}$  lassen sich aus den Daten des Motors 11, der Pumpe 12, der Leitung 20 und des Zylinders 21 sowie den Eigenschaften der Druckflüssigkeit, insbesondere deren Kompressibilität, bestimmen. Die oben beschriebene Aufteilung erlaubt es, den Parameter  $K_{c2}$  gleich dem Parameter  $K_{c1}$  und den Parameter  $K_{d2}$  gleich dem Parameter  $K_{d1}$  einzustellen. Für die Optimierung der Reglerparameter genügt es daher, nur die Parameter eines der beiden Regler zu optimieren. Die entsprechenden Parameter des jeweils anderen Reglers können danach auf die zuvor für den ersten Regler ermittelten Werte eingestellt werden. Die Optimierung läßt sich in vorteilhafter Weise so durchführen, daß zunächst bei geschlossenem Förderstromregelkreis dessen Parameter  $K_{c2}$  und  $K_{d2}$  optimiert werden und danach die Parameter  $K_{c1}$  und  $K_{d1}$  des Druckregelkreises auf dieselben Werte eingestellt werden. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, daß die Optimierung erfolgen kann, ohne daß die Motor-Pumpe-Einheit an eine hydraulische Last angeschlossen ist. Damit ist es möglich,

die Parameter des Förderstromreglers bereits vor der Auslieferung der Motor-Pumpe-Einheit zu optimieren und diese Parameter dann für den Druckregler zu übernehmen. Eine Anpassung des Druckreglers an die Lastverhältnisse erfolgt dann lediglich durch Einstellung des Parameters  $K_{0p}$  auf die im speziellen Anwendungsfall wirksame hydraulische Kapazität.

[0019] Die Figur 5 zeigt das Blockschaltbild eines gegenüber der Figur 2 um einen Zweig 65 mit I-Verhalten erweiterten Druckreglers 30' mit PI-Verhalten. Der Zweig 65 mit I-Verhalten ist parallel zu dem Zweig 31 geschaltet und besteht aus einem P-Glied 51.1 mit dem Verstärkungsfaktor  $K_{0p}$ , einem I-Glied 66 sowie einem diesem nachgeschalteten P-Glied 67. Der Zweig 65 mit I-Verhalten sorgt dafür, daß die bei dem in der Figur 2 dargestellten Druckregler 30 mit P-Verhalten auftretende bleibende Regeldifferenz  $x_{dp}$  im eingeschwungenen Zustand zu Null wird. Bei einer derartigen Ausgestaltung des Druckreglers muß dafür gesorgt werden, daß bei offenem Druckregelkreis das Ausgangssignal des I-Glieds 66 und damit auch das Ausgangssignal  $y_p^*$  des Druckreglers 30' nicht wegdriftet. Um ein Wegdriften des Ausgangssignals  $y_p^*$  und damit auch des Stellsignals  $y_p$  des offenen Druckregelkreises zu verhindern, führt das Auswahlglied 36 dem I-Glied 66 in einem weiteren Schritt des Zyklus ein Korrektursignal  $y_{p10}$  zu. Die Größe des Korrektursignals  $y_{p10}$  ist dabei so bemessen, daß das Stellsignal  $y_p$  am Ende eines Zyklus unter Berücksichtigung der Werte der Regeldifferenz  $x_{dp}$  sowie des Druck-Istwerts  $p_i$  vom Zyklusbeginn gleich dem Stellsignal  $y_Q$  ist, das in diesem Zyklus als Drehmoment-Sollwert  $M_d$  dient. Nach der Zuführung des Korrektursignals  $y_{p10}$ , das das Stellsignal  $y_p$  dem Stellsignal  $y_Q$  angleicht, ist der betrachtete Zyklus beendet und ein neuer Zyklus beginnt wie oben im Zusammenhang mit der Figur 1 beschrieben.

[0020] Wie bereits oben beschrieben, bilden der Druckregler 30 bzw. 30', das D-Glied 32, das P-Glied 35, der Förderstromregler 38 und das Auswahlglied 36 die Regelanordnung 48, der die Druck-Regeldifferenz  $x_{dp}$ , der Druck-Sollwert  $p_s$ , der Druck-Istwert  $p_i$  und die Förderstrom-Regeldifferenz  $x_{dQ}$  als Eingangssignale zugeführt sind und deren Ausgangssignal der Sollwert  $M_{ds}$  für den Drehmomentregelkreis 27 ist. Die Regelanordnung 48 ist wie oben beschrieben als zeitdiskret arbeitende Regelanordnung ausgebildet. Der Drehmomentregelkreis 27, die Motor-Pumpe-Einheit 13 mit der zugehörigen Hydraulikversorgung sowie der Zylinder 21 mit der zwischen ihm und der Pumpe 12 angeordneten Leitung 20 bilden einen Block 49, dem der Drehmoment-Sollwert  $M_d$  als Eingangssignal zugeführt ist und dessen Ausgangssignale  $p_i$  und  $Q_i$  die Istwerte für die Druck- bzw. Förderstromregelung sind.

[0021] Die Figur 6 zeigt einen, dem Block 49 in der Figur 1 entsprechenden Block 74. Wie dem Block 49 ist dem Block 74 der Drehmoment-Sollwert  $M_d$  als Eingangssignal zugeführt. Ausgangssignale des Blocks 74 sind - wie auch bei dem Block 49 - der Druck-Istwert  $p_i$

und der Förderstrom-Istwert  $Q_i$ . Der Block 74 enthält eine Motor-Pumpe-Einheit 75 mit einem die Pumpe 12 antreibenden drehzahlgesteuerten Elektromotor 76 sowie einen Drehmomentregelkreis 77. Ein steuerbarer Frequenzumrichter 78 versorgt den Elektromotor 76 mit elektrischer Energie. Die Steuerung des Frequenzumrichters 78 erfolgt durch das Stellsignal  $y_{MD}$  eines Drehmomentreglers 79. Der von dem Elektromotor 76 aufgenommene Strom  $I$  ist ein Maß für das Drehmoment  $M_d$ . Durch Multiplikation des Stroms  $I$  mit einem Faktor  $K_{IMd}$ , der den Zusammenhang zwischen dem Strom  $I$  und dem Drehmoment  $M_d$  berücksichtigt, erhält man den Drehmoment-Istwert  $M_{di}$ . In dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel erfolgt die entsprechende Multiplikation durch ein P-Glied 80. Der Drehmomentregler 79 bildet aus der Abweichung des Drehmoment-Istwerts  $M_{di}$  vom Drehmoment-Sollwert  $M_{ds}$ , das dem Frequenzumrichter 78 als Stellgröße zugeführte Steuersignal  $y_{MD}$ :

[0022] Wie in dem in der Figur 1 dargestellten Block 48 formt der Drehzahlgeber 18 die Drehzahl  $n$  des die Pumpe 12 antreibenden Motors 76 in den Drehzahl-Istwert  $n_i$  um. Durch Multiplikation des Drehzahl-Istwerts  $n_i$  mit dem konstanten Faktor  $K_{nO}$ , der das konstante Fördervolumen der Pumpe 12 berücksichtigt, erhält man das Signal  $Q_i$ , das dem in der Figur 1, der Figur 3 oder der Figur 4 dargestellten Förderstromregler 38 als aus der Drehzahl  $n$  abgeleiteter Förderstrom-Istwert zugeführt ist.

[0023] Wie bereits anhand der Figur 1 beschrieben, fördert die Pumpe 12 in der einen Drehrichtung aus dem Tank 19 Druckmittel über die Leitung 20 zu dem einfach wirkender Zylinder 21, dessen Kolben 22 mit der Kraft  $F$  beaufschlagt ist. In der anderen Drehrichtung führt die Pumpe 12 Druckmittel von dem Zylinder 21 über die Leitung 20 zum Tank 19 zurück. Der an die Leitung 20 angeschlossene Druckgeber 24 formt den Druck  $p$  des Druckmittels in das dem Druck-Istwert entsprechende Signal  $p_i$  um.

[0024] Die erfundungsgemäße Regeleinrichtung ist zusammen mit der in der Figur 1 dargestellten Regelanordnung 48 sowohl für eine hydraulisch angetriebene Motor-Pumpe-Einheit 13 (wie in der Figur 1 dargestellt) als auch für eine elektrisch angetriebene Motor-Pumpe-Einheit 74 (wie in der Figur 6 dargestellt) einsetzbar.

#### Patentansprüche

1. Einrichtung zur ablösenden Regelung von Druck und Förderstrom eines hydraulischen Druckmittels, das einem von einer Last beaufschlagten Verbraucher zugeführt ist,
  - die eine Motor-Pumpe-Einheit mit einem die dem Verbraucher zugeführte Leistung steuernden Stellsignal beaufschlagt,
  - mit einem ersten Vergleichsglied, das aus ei-

nem Druck-Sollwert und einem Druck-Istwert eine Druck-Regeldifferenz bildet,

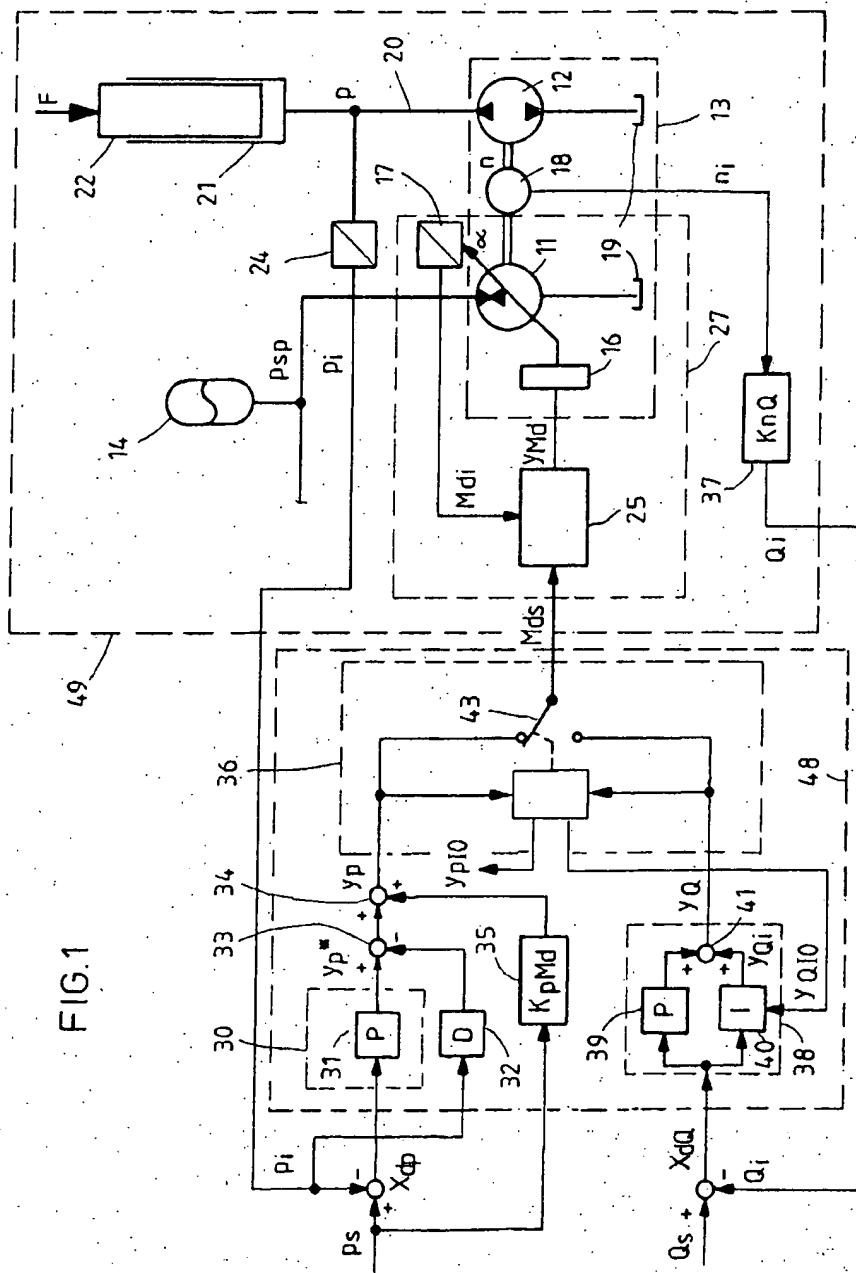
- mit einem ersten Regler, der die Druck-Regeldifferenz zu einem ersten Stellsignal verarbeitet,
- mit einem zweiten Vergleichsglied, das aus einem Förderstrom-Sollwert und einem aus der Drehzahl des Motors abgeleiteten Förderstrom-Istwert eine Förderstrom-Regeldifferenz bildet,
- mit einem zweiten Regler, der die Förderstrom-Regeldifferenz zu einem zweiten Stellsignal verarbeitet, und
- mit einem Auswahlglied, das eines der beiden Stellsignale auswählt und dem Motor der Motor-Pumpe-Einheit zuführt,

dadurch gekennzeichnet,

- daß der erste Regler (30) einen Zweig (31) mit P-Verhalten aufweist,
- daß der Druck-Istwert ( $p_i$ ) einem D-Verhalten aufweisenden Glied (32) zugeführt ist,
- daß die Summe aus der Differenz zwischen dem Ausgangssignal ( $y_p^*$ ) des ersten Reglers (30) und dem Ausgangssignal des D-Glieds (32) und dem Produkt aus dem Druck-Sollwert ( $p_s$ ) und einem die pro Umdrehung der Pumpe (12) geförderte Druckmittelmenge berücksichtigenden Faktor ( $K_{pMg}$ ) dem Auswahlglied (36) als erstes Stellsignal ( $y_p$ ) zugeführt ist,
- daß der zweite Regler (38) einen Zweig (39) mit P-Verhalten und einen zu diesem parallel angeordneten Zweig (40) mit I-Verhalten aufweist,
- daß das von dem Auswahlglied (36) ausgewählte Stellsignal ( $y_p, y_Q$ ) einem Regelkreis (27; 77) für das Antriebsdrehmoment des Motors (11; 76) als Drehmoment-Sollwert ( $M_{ds}$ ) zugeführt ist,
- daß der erste Regler (30), das D-Verhalten aufweisende Glied (32), der zweite Regler (38) und das Auswahlglied (36) Bestandteile einer zeitdiskret arbeitenden Regelanordnung (48) sind, die den Drehmoment-Sollwert ( $M_{ds}$ ) in aufeinanderfolgenden jeweils aus mehreren Schritten bestehenden Zyklen bildet,
- daß die Regelanordnung (48) zu Beginn eines Zyklus die Stellsignale ( $y_p, y_Q$ ) bildet, das jeweils kleinere von ihnen auswählt und dem Drehmomentregelkreis (27) so lange als Drehmoment-Sollwert ( $M_{ds}$ ) zuführt, bis im nächsten Zyklus neue Stellsignale vorliegen, und wenn das erste Stellsignal ( $y_p$ ) in dem aktuellen Zyklus als Drehmoment-Sollwert ( $M_{ds}$ ) dient, in einem weiteren Schritt des Zyklus einen Korrekturwert ( $y_{Q10}$ ) für das I-Glied (40) des zweiten Reglers (38) bildet, der so bemessen ist,

- daß bei offenem Förderstrom-Regelkreis das zweite Stellsignal ( $y_Q$ ) am Ende eines Zyklus gleich dem ersten Stellsignal ( $y_P$ ) ist.
2. Regeleinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in Fällen, in denen beide Stellsignale ( $y_P, y_Q$ ) gleich groß sind, der Regelkreis für das Drehmoment das erste Stellsignal ( $y_P$ ) als Drehmoment-Sollwert ( $M_{d_s}$ ) zugeführt ist.
3. Regeleinrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,
- daß der P-Verhalten aufweisende Zweig (31) des ersten Reglers (30) als Hintereinanderschaltung eines ersten P-Glieds (51.1), dessen Verstärkungsfaktor ( $K_{Op}$ ) die hydraulische Kapazität des Verbrauchers (20, 21) und das Fördervolumen der Pumpe (12) berücksichtigt, und eines zweiten P-Glieds (52) mit einstellbarem Verstärkungsfaktor ( $K_{c1}$ ) ausgebildet ist,
  - daß das D-Verhalten aufweisende Glied (32) als Hintereinanderschaltung eines dritten P-Glieds (51.2), dessen Verstärkungsfaktor ( $K_{Op}$ ) gleich demjenigen des ersten P-Glieds (51.1) ist, eines D-Glieds (53) sowie eines vierten P-Glieds (54) mit einstellbarem Verstärkungsfaktor ( $K_{d1}$ ) ausgebildet ist
  - daß der P-Verhalten aufweisende Zweig (39) des zweiten Reglers (38) als Hintereinanderschaltung eines fünften P-Glieds (59.1), dessen Verstärkungsfaktor ( $K_{Op}$ ) das Fördervolumen der Pumpe (12) berücksichtigt, und eines sechsten P-Glieds (60) mit einstellbarem Verstärkungsfaktor ( $K_{d2}$ ) ausgebildet ist,
  - daß der I-Verhalten aufweisende Zweig (40) des zweiten Reglers (38) als Hintereinanderschaltung eines siebten P-Glieds (59.2), dessen Verstärkungsfaktor ( $K_{Op}$ ) gleich demjenigen des fünften P-Glieds (59.1) ist, eines I-Glieds (61) sowie eines achten P-Glieds (62) mit einstellbarem Verstärkungsfaktor ( $K_{c2}$ ) ausgebildet ist,
  - daß der Verstärkungsfaktor ( $K_{c2}$ ) des achten P-Glieds (62) auf denselben Wert wie der Verstärkungsfaktor ( $K_{c1}$ ) des zweiten P-Glieds (52) eingestellt ist und
  - daß der Verstärkungsfaktor ( $K_{d2}$ ) des sechsten P-Glieds (60) auf denselben Wert wie der Verstärkungsfaktor ( $K_{d1}$ ) des vierten P-Glieds (54) eingestellt ist.
4. Regeleinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das fünfte und das siebte P-Glied (59.1, 59.2) durch ein für den P-Anteil (39) und den I-Anteil (40) gemeinsames P-Glied (59) ersetzt sind.
5. Regeleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet,
- daß der erste Regler (30') als PI-Regler ausgebildet ist, zu dessen P-Anteil (31) der I-Anteil (65) parallelgeschaltet ist, und
  - daß die Regelanordnung (48), wenn das zweite Stellsignal ( $y_Q$ ) in dem aktuellen Zyklus als Drehmoment-Sollwert ( $M_{d_s}$ ) dient, in einem weiteren Schritt des Zyklus einen Korrekturwert ( $y_{p10}$ ) für das I-Glied (66) des ersten Reglers (30') bildet, der so bemessen ist, daß bei offenem Druck-Regelkreis das erste Stellsignal ( $y_P$ ) am Ende eines Zyklus gleich dem Wert des zweiten Stellsignals ( $y_Q$ ) ist.
6. Regeleinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei Antrieb der Hydropumpe (12) durch einen Hydromotor (11) mit Schwenkwinkelverstellung der Drehmoment-Istwert ( $M_d$ ) als Produkt aus dem Schwenkwinkel-Istwert und einem den Zusammenhang zwischen dem Schwenkwinkel ( $\alpha$ ) und dem Antriebsdrehmoment ( $M_d$ ) der Motor-Pumpe-Einheit (13) berücksichtigenden Faktor ( $K_{wMD}$ ) gebildet ist.
7. Regeleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei Antrieb der Hydropumpe (12) durch einen drehzahlgesteuerten Elektromotor (76) der Drehmoment-Istwert ( $M_d$ ) als Produkt aus dem Motorstrom-Istwert und einem den Zusammenhang zwischen dem Motorstrom ( $i$ ) und dem Antriebsdrehmoment ( $M_d$ ) der Motor-Pumpe-Einheit (75) berücksichtigenden Faktor ( $K_{IMd}$ ) gebildet ist.

FIG. 1



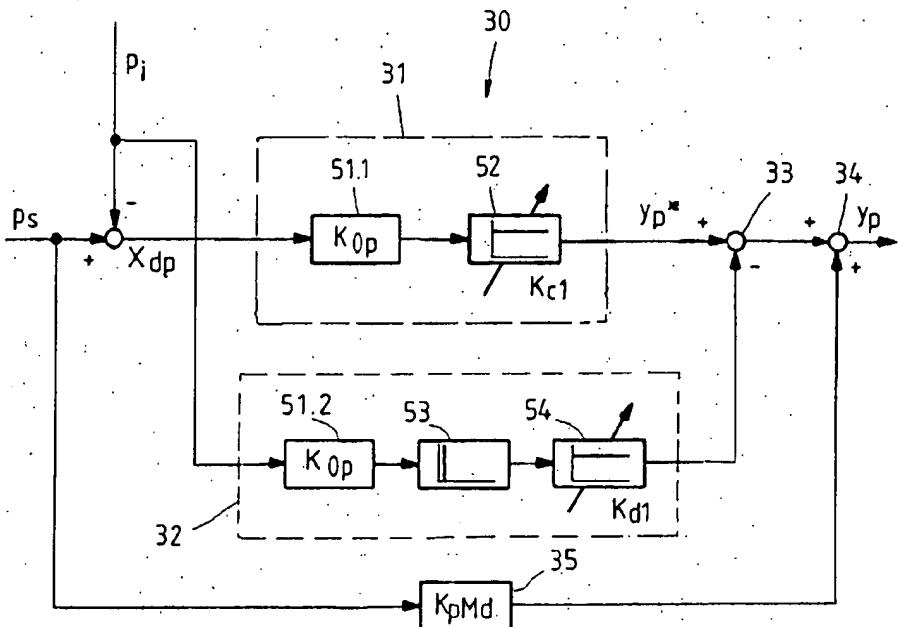


FIG. 2

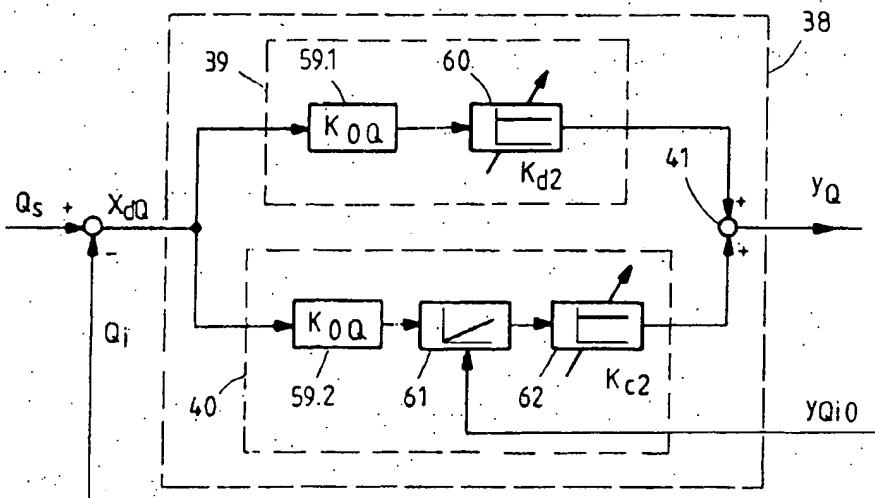


FIG. 3

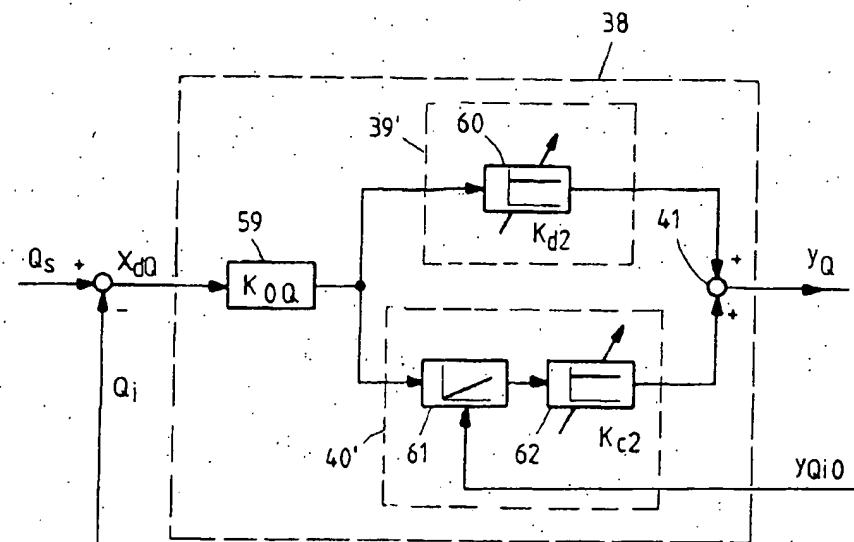


FIG. 4

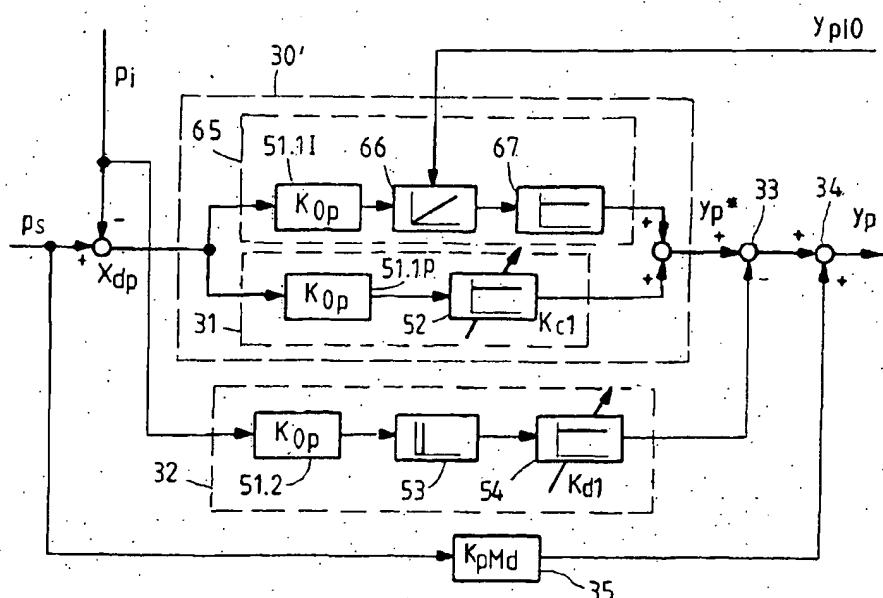


FIG. 5

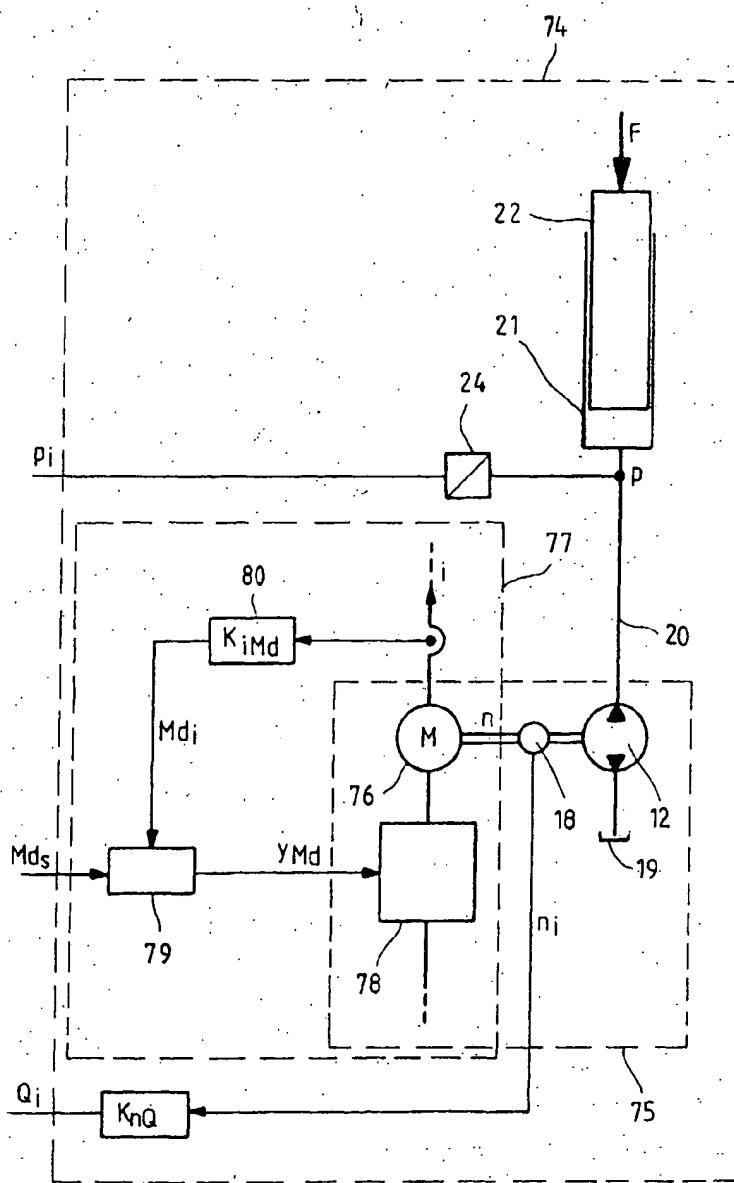


FIG. 6